Zur Kenntnis der Reizleitung in den Cerebrospinalganglien

von Hans Diederichs

Carl Hinstorffs
Buchdruckerei
Rostock • 1900

Zur
Kenntnis der Reizleitung
in den Cerebrospinalganglien.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der medizinischen Doktorwürde

einer

Hohen medizinischen Fakultät zu Rostock

vorgelegt

von

Hans Diederichs

approb. Arzt aus Rostock.

ACAD.
LUGD.BAT.
BIBL.

Rostock
Carl Hinstorffs Buchdruckerei
1900.

Ref.: Herr Prof. Dr. Langendorff.

Meiner lieben Mutter

gewidmet.

I. Einleitung.

Die Frage, ob die Nervenzellen der Spinalganglien und der ihnen homologen Ganglien der Kopfnerven in den Weg der sensiblen Leitungsbahn eingeschaltet sind oder nicht, harrte bisher noch immer der Erledigung. Wir wissen zwar, dass die durch Spinalganglien hindurchziehenden Wurzelfasern sämtlich oder grösstenteils mit den Nervenzellen im Zusammenhang stehen; aber die Verbindungen sind derartige, dass man daraus nicht ohne weiteres auf eine Teilnahme der Zellen am Leitungsvorgang schliessen darf. Denn die anatomischen Verhältnisse liegen bekanntlich so, dass die Spinalganglienzellen einfache Nervenfortsätze aussenden, die noch innerhalb des Ganglions sich T-förmig teilen und sich dann einerseits centralwärts zum Rückenmark, anderseits zum Anschluss an die Fasern der keine Ganglien passierenden vorderen Wurzeln nach der Peripherie hin wenden. Es liegt daher die Vermutung nahe, dass die centripetale Erregung die Zelle selbst umgeht und an der Teilungsstelle jedes Nervenfortsatzes einfach auf den centralen Schenkel der Faser überspringt.

Das Wichtigste, was uns über die physiologische Bedeutung der Spinalganglien bekannt sind, verdanken wir den Arbeiten Waller's, welche darthun, dass die Nervenzellen der Spinalganglien einen ernährenden Einfluss auf die aus ihnen hervorgehenden Nervenfasern ausüben. Im übrigen haben sich nur wenige Forscher mit der Frage nach den Leistungen der Spinalganglien experimentell beschäftigt.

Die ersten Beobachtungen hatten sämtlich den Zweck, zu ermitteln, ob die Passage der centripetalen Erregung durch die Spinalganglien mit einer Verzögerung des Leitungsvorganges verbunden ist. Zuerst hat Wundt auf Grund von Versuchen an den Spinalganglien des Frosches eine Leitungsverzögerung behauptet. Er fand, wenn er durch Reizung eines sensiblen Rückenmarksnerven eine Reflexbewegung hervorrief, die Zeit zwischen Reiz und Bewegung (die Reflexzeit) bei Reizung der hinteren Wurzeln soviel kürzer als bei Reizung einer distal vom Ganglion gelegenen Stelle des Nerven, dass auf die Einschaltung eines verzögernd wirkenden Organs geschlossen werden musste.

Anders lauten freilich die Ergebnisse einer von Exner angestellten Untersuchung, die sich auf den zeitlichen Ablauf des mit der Nervenerregung einhergehenden Aktionsstromes bezog. Indem Exner mittelst des Rheotoms das zeitliche Eintreffen der Negativschwankung an den hinteren Wurzeln (nahe dem Rückenmark) bestimmte, fand er, dass es keinen

Unterschied machte, ob er oberhalb oder unterhalb des Spinalganglions den Reiz anbrachte.

Zu ähnlichen Folgerungen wie Wundt gelangten Gad und Joseph, welche für respiratorische Vagusreflexe einen nicht unerheblichen Zeitverlust infolge der Einschaltung des dem Spinalganglion homologen Ingularknotens erhielten. Reizten sie unterhalb des Ingularganglions, so trat die reflektorische Atembewegung um im Mittel 0,036 Sec. später auf als bei Reizung des Nerven über dem Ganglion.

Seit mehreren Jahren liegen auch einige Beobachtungen über die Leitungsverhältnisse in den Ganglien des sympathischen Nervensystems vor. Entsprechend den bei ihnen vorliegenden anatomischen Verhältnissen, wie sie durch die Untersuchungen von Kölliker, Retzius u. A. bekannt geworden sind, haben auch die experimentellen Erfahrungen gelehrt, dass die sympathischen Nervenzellen für gewisse nervöse Leitungen Stationen darstellen, in denen der Erregungsverlauf eine Unterbrechung erfährt. So zeigte sich, dass der Leitungsweg der durch den Halssympathikus kopfwärts geleiteten Impulse durch die Nervenzellen des oberen Halsknotens führt. Dies konnten Langley und Dickinson durch ihre Nikotinversuche nachweisen, welche darthun, dass die Vergiftung eines Tieres mit Nikotin oder auch nur die lokale Vergiftung des oberen Halsganglions des Sympathikus die Reizung dieses Nerven unterhalb des Ganglions völlig wirkungslos macht, ohne dass zugleich der Erfolg einer Reizung des Hals-

sympathikus oberhalb desselben irgendwie geschädigt wird. Diese Thatsache wurde von Langley und Dickinson so gedeutet, dass die Ganglienzellen des Sympathikus durch Nikotin gelähmt werden, und die Reizung unterhalb des Ganglions nur deshalb versagt, weil die Erregung die in ihre Bahn eingeschlossenen, funktionsunfähig gewordenen Zellen nicht zu überschreiten vermag.

Waren Langley und Dickinson durch Benutzung ihrer Nikotinmethode zu diesem Resultat gelangt, so vermochte Langendorff dasselbe dadurch nachzuweisen, dass er die Nervenzellen durch Erstickung und Absperrung der Blutzufuhr abtötete. Schon bald nach dem Tode des Tieres tritt die Wirkungslosigkeit der Reizung unterhalb des Ganglions ein, während die aus dem Ganglion entspringenden, kopfwärts verlaufenden Fasern für Reizungen vollkommen zugänglich bleiben.

Für die Unterbrechung der Leitung durch Nervenzellen schien Langendorff auch die von ihm beobachtete Thatsache zu sprechen, dass gewisse Reize, z. B. galvanische Einzelschwankungen und chemische Reize verschiedener Art, am Halssympathikus unterhalb des Ganglions angebracht, ohne Wirkung oder doch von ganz zweifelhafter Wirkung auf die Pupille zu sein scheinen, während dieselben oberhalb des Ganglions wirksam sind. Hierin würde ein principieller Unterschied zwischen der Erregungsleitung durch die sympathischen und cerebrospinalen Ganglien liegen; denn unterhalb der letzteren sind die er-

wähnten Reize allen Erfahrungen nach durchaus wirksam. „So reagiert das Atemcentrum in ganz typischer Weise auf chemische Reizung des Vagus, und auch von galvanischen Einzelschwankungen lässt sich eine deutliche Wirkung auf die Atmung darthun, während der Halssympathikus unterhalb des oberen Halsganglions meist unempfänglich gegen einzelne Induktionsschläge ist und durch Schluss und Öffnung des Kettenstromes wie auch durch chemische Reize nicht erregt werden kann.“ Da nun diese Formen der Reizung oberhalb des Ganglions wirksam zu sein pflegen, so meint Langendorff, dass nur in der Einschaltung der sympathischen, auf Reize dieser Art eben nicht ansprechenden Nervenzellen das Hinderniss zu suchen sei. Allerdings sei hier bemerkt, dass später Mulert unter Langendorff's Leitung doch öfters am Halssympathikus auch einzelne Induktionsschläge wirksam fand, und dass Langendorff selbst sich schon vor mehreren Jahren überzeugt hat, dass bei Reizung des N. oculomotorius unterhalb des Ciliarganglions auch bei solchen Tieren, bei denen dasselbe sicher sympathischer Natur ist, der Erfolg doch zumeist ein positiver ist. Denn der Sphincter iridis zog sich bei Anwendung von einzelnen Induktionsströmen auf den Stamm des Oculomotorius wie bei Schliessung oder Öffnung von Kettenströmen kräftig zusammen. Ergab sich somit bei diesen Versuchen auch, dass die Einschaltung von cerebrospinalen Ganglienzellen in die Nervenzellen nicht regelmässig zu einer anderen Reizempfänglichkeit führt, wie die Einschaltung sympathischer Zellen, so

war doch beachtenswert, dass dies oft der Fall ist; und es liegt sehr nahe, die Ursache davon in der Verschiedenheit der anatomischen Verknüpfung zwischen Zelle und Nervenfaser zu erblicken.

Jedenfalls schien es lohnend, der oben aufgeworfenen Frage, ob die cerebrospinale Nervenzelle in den Erregungsweg der sensiblen Faser eingeschaltet ist, ob sie also von der Erregung mitbetroffen wird, durch weitere Versuche nachzugehen.

II. Ausschaltung der cerebrospinalen Ganglien bei Säugetieren.

In dem Wunsche, die an den Zellen sympatischer Ganglien erprobten Versuchsmittel auch an den Nervenzellen der Spinalganglien bezw. der ihnen homologen Kopfnervenganglien zu prüfen, hat Langendorff im Jahre 1896 einige Versuchsreihen an Säugetieren angestellt, die bisher noch nicht ausführlich veröffentlicht sind, und deren Ergebnisse er mir zur Verfügung gestellt hat. Er wählte dazu das Ingularganglion des N. vagus bei Kaninchen und in selteneren Fällen auch bei Katzen.

1. Anämieversuche an Säugetieren.

Die auf den an sympathischen Nervenzellen gemachten Erfahrungen sich gründende Vermutung, dass die Zellen der spinalen Ganglien in die Leitungsbahn eingeschaltet seien, machte es wahrscheinlich, dass auch bei diesen Nerven die Reizung unterhalb des Ganglions unwirksam werden würde. Eine Stütze schien diese Vermutung in einer bisher nicht genügend gewürdigten und anscheinend schwer zu erklärenden Beobachtung von Ehrlich und Brieger zu finden, welche die Entdeckung machten, dass kurze Zeit nach Unterbindung der Bauchaorta bei

Kaninchen nicht allein die Beweglichkeit, sondern auch die Empfindlichkeit der hinteren Extremitäten sehr bald schwindet. Für den Ausfall der Beweglichkeit ist die Erklärung ohne Schwierigkeit gegeben. Man weiss nämlich von den motorischen Bahnen, dass sie im Rückenmark durch Nervenzellen unterbrochen werden, welche gegen Blutleere sehr empfindlich sind. Die Empfindungslähmung ist dagegen nicht leicht erklärlich. Über die Leitungsverhältnisse der hinteren Wurzeln ist die Ansicht vorherrschend, dass ein grosser Teil derselben direkt in der weissen Substanz des Rückenmarks und zwar in den Hintersträngen zur Medulla oblongata aufsteige, die Empfindungsimpulse daher sich dieser Bahnen bedienen. Da nun nach den Untersuchungen von Singer, welcher nach länger dauernden Aortenabsperrungen die graue Substanz des Lendenmarks nekrotisch, die Hinterstränge dagegen noch intakt fand, der weissen Substanz eine ungleich höhere Widerstandsfähigkeit gegen Blutleere zukommt, so liegt die Annahme nahe, dass das Zugrundegehen der Empfindungsleitung nur durch Zerstörung der grauen Substanz bedingt sein könne. Demgegenüber wurde von Langendorff daran erinnert, dass möglicherweise die Einschaltung der durch die Anämie functionsunfähig gewordenen Spinalganglienzellen den Empfindungsausfall verursache. Spätere Beobachtungen entkräfteten jedoch diesen Einwand; denn auch die hinteren Wurzeln zeigten sich bald nach der Aortenunterbindung unempfindlich. Es bleibt daher am wahrscheinlichsten,

dass im Rückenmark selbst die Ursache der Anästhesie zu suchen ist. Wo aber hier das Hindernis der Fortleitung gelegen ist, ob entweder doch die weisse Substanz von der Läsion betroffen, oder, was Langendorff annimmt, die sensible Bahn bald nach ihrem Eintritt ins Mark durch nervenzellhaltige graue Substanz unterbrochen wird, bleibt noch unentschieden.

Langendorff suchte nun die Frage der Einschaltung der Spinalganglienzellen mittels lokaler Blutsperre am Ingularganglion zu erledigen. Um das Ganglion seiner Blutzufuhr zu berauben, ohne zugleich das nervöse Centralorgan, das als Reagens für das Vorhandensein der Nervenleitung dienen musste, zu schädigen, wählte Langendorff die zuerst von Kronecker und seinem Schüler Marckwald zur Ausschaltung einzelner Hirnteile benutzte Paraffininjektion.

Die Karotis eines mit Äther oder Chloralhydrat betäubten Tieres wurde einseitig oder beiderseits tief unten am Halse unterbunden. Dann wurde eine vorgewärmte Provaz'sche Spritze mit einer durch Alkanna gefärbten, auf höchstens 45 ^{0} C erwärmten Paraffinmischung gefüllt; die Kanüle derselben wurde in das peripherische Arterienende eingestossen und die Injektion einer kleinen Paraffinmenge schnell ausgeführt. Die Menge musste genügen, um die Arterie bis über die Teilung derselben hinaus prall zu füllen, und musste gering genug sein, um nicht eine Verstopfung der Gehirngefässe herbeizuführen.

Durch einige Übung gelangt man leicht dahin, die richtige, der Grösse des Tieres und der Weite seiner Gefässe angemessene Dosis zu finden. Mit 1 ccm Paraffin liess sich von der Carotis comm. aus der ganze Circulus Willisii bis in die Basilararterie und die Vertebrales hinein füllen. Natürlich erlag einer solchen Einspritzung das Tier in kürzester Frist. Bei unvollständiger Füllung dieser Gefässe wurde gelegentlich ein länger andauerndes Cheyne-Stokes'sches Atmungsphänomen beobachtet. Für die weit weniger ausgedehnte Füllung, wie sie für die vorliegende Versuchsreihe notwendig war, genügte 0,5 ccm und weniger.

Solcher Versuche wurden 15 vorgenommen, zwei an Katzen, die übrigen an Kaninchen. Nach der Einspritzung war der entsprechende Vagus präpariert, sein centrales Ende mit einem Faden versehen worden. Das Tier war tracheotomiert und schrieb seine Atembewegungen mittels Luftflasche und Marey'scher Schreibkapsel auf einem Registrier-Cylinder auf. Der centrale Vagusstumpf wurde mit tetanisierenden Induktionsströmen oder auch mit aufsteigenden Kettenströmen auf seine respiratorischen Leistungen geprüft. Nach Beendigung des Versuchs wurde jedesmal die Ausdehnung der Injektion durch die Sektion festgestellt. In mehreren Fällen blieb, obwohl die Einspritzung gelungen und das Tier in voller Atemthätigkeit geblieben war, nach der Paraffininjektion die frühere Wirkung der Vagusreizung ganz aus oder zeigte sich vermindert. Das darf nicht Wunder nehmen und nicht zu falschen

Schlüssen verleiten, wenn man bedenkt, wie nahe der zu prüfende Vagus der mit der erhitzten Masse gefüllten Arterie gelegen ist. Beweisend erscheinen nur diejenigen Beobachtungen, in denen die Vaguswirkung nach Ausführung der Injektion fortdauerte und lange bestehen blieb. Dies war in der grössten Zahl der Versuche in der That der Fall.

So zeigten sich die respiratorischen Wirkungen der Vagusreizung bei einer Katze noch mindestens 25 Minuten nach der Einspritzung völlig so, wie am unversehrten Tiere. Ebenso gelang es an zahlreichen Kaninchen, inspiratorische wie exspiratorische Wirkungen (letztere zumeist durch Kettenströme) mindestens $^1/_4$ Stunde nach der Injektion nachzuweisen. Meistens wurde nach 20—25 Minuten nicht weiter geprüft. In einem Falle jedoch zeigte sich bei einem Kaninchen, bei dem beide Karotiden successive thrombosiert waren, der der zuletzt injicierten entsprechende Nerv noch nach 54 Minuten sehr wirksam. Für alle diese Beobachtungen liegen die graphischen Dokumente vor; leider muss ich mir an dieser Stelle die Mitteilung derselben versagen.

Besonders beweisend für die Verschiedenheit der Bedeutung des Vagusganglions und des nahegelegenen oberen sympathischen Halsganglions für die Reizleitung waren solche Fälle, in denen festgestellt wurde, dass bei erhaltener Vaguswirkung die Reizung des Halssympathikus nicht mehr im Stande war, die Pupille zu erweitern.

2. Nikotinisierung des Ingularganglions.

Bei diesen Versuchen wurden verschiedene Wege eingeschlagen. In einer Reihe von Fällen erhält das Tier (Kaninchen, seltener Katze) eine subkutane Einspritzung einer Lösung von Nikotin. tartar. (Merck). Die Dosis war so bemessen, dass allgemeine Vergiftungserscheinungen, Muskelzittern, gelegentlich auch Krämpfe auftraten. Die Vorbereitungen zur Vagusprüfung waren ähnlich wie bei den Paraffinversuchen: Vagus am Halse präpariert, Luftröhre mit der Schreibvorrichtung verbunden. In allen Fällen blieb hier die Wirkung der Vagusreizung erhalten, während der Halssympathikus, dessen Einfluss auf die Pupille untersucht wurde, versagte.

In einer zweiten Versuchsreihe wurde eine interstitielle Einspritzung des zu 1 Procent in physiologischer Kochsalzlösung gelösten Giftes in das Ingularganglion selbst vorgenommen. Dazu wurde eine Spritze mit äusserst feiner Kanüle benutzt. Von den wenigen in dieser Weise angestellten Versuchen ergab nur einer ein Erhaltenbleiben der Vaguswirkung; in den anderen ging sie verloren. Eine grössere Bedeutung dürfte diesen letzteren Beobachtungen indessen nicht zukommen, da durch das immerhin rohe Vergiftungsverfahren die zarten Fortsätze der Nervenzellen leicht geschädigt sein konnten. Bei einer dritten Versuchsreihe wurde nach dem klassischen Verfahren von Langley das Ganglion mit der Giftlösung betupft oder in Wattebäusche gepackt, die mit der Lösung durchtränkt waren, oder

endlich in einer reichlichen Menge derselben förmlich gebadet.

In allen diesen Fällen blieb die Vaguswirkung erhalten, schien in einzelnen Fällen sogar gesteigert zu sein. Der Einfluss der Sympathikusreizung auf die Pupille schwand dagegen allemal, wenn auch das sympathische Ganglion vom Gifte berührt worden war.

Endlich wurde in einer letzten Reihe von Versuchen eine mit Indig-Karmin gefärbte einprocentige Nikotinlösung in das peripherische Ende der central unterbundenen Karotis eingespritzt. An der Bläuung des Ganglions wurde erkannt, dass das Gift es erreicht hatte. Auch hier blieb ausnahmslos — auch bei mehrfacher Wiederholung der Einspritzung — die Wirkung der elektrischen Vagusreizung erhalten.

III. Anämieversuche an den Spinalganglien des Frosches.

Der Anregung des Herrn Prof. Langendorff habe ich es zu verdanken, wenn ich es im Herbst des Jahres 1898 unternahm, die in vorstehenden Schilderungen dargelegten Gesichtspunkte zur Grundlage einer analogen Untersuchung über die Erregungsleitung im Spinalganglion zu machen. Da die Blutleere der Spinalganglien, wenn sie durch Unterbindung der Aorta oder Verblutung herbeigeführt wird, gleichzeitig mit einer Circulationsperre des gerade für die einfachste Prüfung der sensiblen Leitungsverhältnisse (Reflexversuche) als intakt vorauszusetzenden Rückenmarks verbunden ist, so habe ich mich des nervösen Aktionsstromes bedient, um über die Unversehrtheit der sensiblen Bahn zu entscheiden. Ich beschränkte mich bei meinen Versuchen darauf, den Einfluss kennen zu lernen, den die Absperrung der Blutzufuhr auf die Thätigkeit der spinalen Ganglien ausübt. Ich suchte festzustellen, ob und wie lange nach Herzexstirpation beim Frosch noch der Aktionsstrom an den hinteren Rücken-

markswurzeln durch faradische Reizung des centralen Ischiadicusstumpfes sich nachweisen liess.

Es sei hier gleich erwähnt, dass nach Abschluss meiner Versuche, und nachdem Prof. Langendorff eine kurze Mitteilung über dieselben in der Naturforschenden Gesellschaft in Rostock gemacht und in deren Sitzungsbericht veröffentlicht hatte, eine eingehende Arbeit von Steinach erschienen ist, durch welche unsere Befunde und Schlüsse nicht nur bestätigt, sondern in sehr dankenswerter Weise nach verschiedenen Richtungen hin erweitert worden sind. Am Schlusse soll näher auf diese Abhandlung eingegangen werden.

Eigenes Versuchsverfahren.

Als Material dienten grosse Frösche, denen in der Äthernarkose das Herz exstirpiert wurde. Bei einer mittleren Temperatur von 15—20 ° C ist nach etwa einer Stunde die Atmung völlig geschwunden, wie Langendorff beobachtete. Nach spätetens zwei Stunden pflegen alle Reflexbewegungen zu fehlen. Hat die Anämie länger als 6 Stunden gedauert, so sind die nervösen Centralorgane definitiv abgestorben.

Für die Untersuchung wurde die Wirbelsäule breit eröffnet, die Hinterwurzeln der hinteren Extremitäten der ganzen Länge nach freigelegt und dicht beim Eintritt ins Mark abgetrennt. Dann

wurde auf einer Seite der N. ischadicus aufgesucht und bis zu seiner Vereinigungsstelle zum Plexus hinauf isoliert freigelegt. Nun wurden die entsprechenden Hinterwurzeln einzeln oder zu mehreren den unpolarisierbaren, fein zugespitzten Pinsel-Elektroden angelegt, während die Reizzuleitung zum N. ischiadicus durch Platinspitzen geschah. Als stromprüfendes Instrument benutzte ich ausser einem nach Langendorff's Angaben von Westien konstruierten Kapillarelektrometer in der Mehrzahl der Versuche ein mit einem Ablesefernrohr zu beobachtendes Rosenthal'sches Mikro-Galvanometer, das eine für so subtile Versuche erforderliche Empfindlichkeit bei nur geringer Wanderung des Nullpunktes besass. Zur Reizung wurde der Du Bois'sche Schlittenapparat mit einer sekundären Spirale von 5500 Windungen benutzt. Ein Daniell lieferte den primären Strom. In den Galvanometer-Elektrodenkreis wurde eine Pohl'sche Wippe eingeschaltet. Diese Anordnung war in allen Versuchen dieselbe.

Der Demarkationsstrom der Hinterwurzeln war niemals so stark, dass er die Skala aus dem Gesichtsfeld getrieben hätte. Deshalb wurde auf seine Kompensation verzichtet, und direkt die Verminderung der Ablenkung durch das Entstehen des Aktionsstromes beobachtet.

Ich führe aus meinen zahlreichen Experimenten folgende Versuche als Beispiele an:

Versuch I. (31. Okt. 1898).

Grosser ätherisierter Frosch.

$10^h\ 30'$: Exstirpation des Herzens.

$12^h\ 5'$: Frosch liegt auf dem Rücken wie tot; auf Kneifen der Pfote reagiert er mit Reflexen und heftigen Fluchtanstrengungen.

Nach 3 Min. eine Gruppe von dyspnoischen Atmungen mit Aufreissen des Mauls.

$12^h\ 10'$: Eine Reflexbewegung mit drei dyspnoischen Atmungen.

$12^h\ 12'$: Intensive Reflexbewegungen mit mehrmaligem Aufreissen des Maules.

Zimmer-Temp. 20^0 C.

$1^h\ 25'$ Vorm.: Versuch ergiebt 2 Stunden nach der Operation Nervenstrom und deutliche Negativschwankung.

Nullpunkt bei Scth. 445.

Ruhestrom	Bei Reizung	Rollenabstd. des Reizstromes	Scthle. Ruhest.	Scthle. Negat. Schw.
480	476	30 mm	35	4
bei Wippenwechsel:				
415	418		30	3

Versuch II (6. Nov. 1898).

9^h Vorm.: Dem Frosch wird das Herz ausgeschnitten.

$10^h\ 30'$: Reflexe noch vorhanden.

$11^h\ 30'$: Auf der linken Seite die hinteren Wurzeln abgeleitet, linker N. ischiadicus gereizt.

Nullpunkt 527.

Ruhestrom	Bei Reizung	Rollenabstd. des Reizstroms	Scthle. Ruhestr.	Scthle. Negat. Schw.
585	575	40 mm	58	10
	bei Wippenwechsel:			
578	$568^1/_2$		51	10,5

Temp.: 17,5° C.

Versuch III (7. November 1898).

12^h 10′ Vorm.: Dem Frosch wird das Herz entnommen.

5^h 30′ Nachm.: Links hintere Wurzeln abgeleitet und linker Ischiadicus gereizt.

Nullpunkt 475.

Ruhestrom	Bei Reizung	Rollenabstd. des Reizstroms	Scthle. Ruhestr.	Scthle. Negativschw.
512	499	45 mm	37	13
	bei Wippenwechsel:			
439	449		36	10

Versuch IV (14. Nov. 1898).

6^h Nachm. wird dem Frosch das Herz entnommen.

15. Nov. 12^h Mittags: Versuch.

Nullpunkt 485.

Ruhestrom	Bei Reizung	Rollenabstd. des Reizstroms	Scthle. Ruhestr.	Scthle. Negativschw.
575	566	40 mm	90	9
	bei Wippenwechsel:			
405	411		80	6

Versuch V (5. Dez. 1898).

5. Dez. 1898 5^h Nachm.: Herz entnommen.

6. Dez. 5^h Nachm.: Versuch.

Nullpunkt 544.

Ruhestrom	Bei Reizung	Rollenabstd des Ruhestroms	Scthle. Ruhestr.	Scthle. Negativschw.
510	513	65 mm	34	3
bei Wippenwechsel:				
576	571		32	5

Temp.: 20^0 C.

Ich hielt es der Mühe wert, diese Befunde an einem Kapillerelektrometer nachzuprüfen und verwendete das oben erwähnte Westien'sche, welches ausserordentlich kräftig und präzise reagierte. Da nach den obigen Aufzeichnungen genaue Angaben über die Grösse der Negativschwankung nicht mehr von Belang sind, so begnüge ich mich damit, zu erwähnen, dass dieselbe stets deutlich zum Ausdruck kam.

IV. Schlussfolgerungen.

Aus der Gesamtheit der oben angeführten Versuche ersieht man, dass bei mittlerer Temperatur bis 12 Stunden, in zwei Versuchen sogar bis 24 Stunden nach der Herzexstirpation bei Vorhandensein eines kräftigen Nervenstroms auch die Negativschwankung deutlich und unzweifelhaft vorhanden war. Somit musste die am centralen Ischiadicus-Stumpfe durch Tetanisierung erzeugte Erregung das Ganglion durchsetzt haben, ohne durch die in dieser Zeit wohl sicher abgestorbenen Nervenzellen aufgehalten zu werden.

Ich stehe daher nicht an, aus diesen Ergebnissen den Schluss zu ziehen, dass die Erregung die Zellen der Spinalganglien garnicht durchsetzt oder wenigstens, um bis zum Centralorgan zu gelangen, nicht zu durchsetzen braucht, sondern an der Teilungsstelle des T-Fortsatzes direkt vom peripheren auf den centralen Zweig übergeht oder zum mindesten übergehen kann, dass also die sensible Erregungsleitung nicht im mindesten an die Mitwirkung der Spinalganglienzellen gebunden ist.

Entgegen dieser Auffassung muss allerdings bemerkt werden, dass vergleichend-anatomische wie entwicklungsgeschichtliche Thatsachen es a priori allerdings wahrscheinlich machen, dass die Spinalganglienzellen in den Erregungsweg eingeschaltet sind. Denn wir finden bei den Fischen noch bipolare Zellen an diesen Stellen vor und auch bei höheren Wirbeltieren auf einer tieferen Stufe der ontogenetischen Entwickelung sind ebenfalls zwei diametrale Fortsätze der Spinalganglienzellen vorhanden. Hier muss die Erregung die Zelle durchlaufen. Erscheint diese Betrachtung auf den ersten Blick geeignet, die oben ausgesprochene Auffassung zu widerlegen, so kann man andrerseits vielmehr versucht sein, in ihr eine Stütze zu gewinnen. Denn die in den höheren ontogenetischen und phylogenetischen Entwicklungsstufen erfolgende „Unipolarisation" der Spinalganglienzellen ist offenbar als eine höhere Ausbildung zu betrachten, die ohne funktionelle Gründe nicht eintreten würde. Vielleicht sind es Sparsamkeitsgründe, aus denen die Erregung den unbequemen und überflüssigen Weg durch die Zelle vermeidet, ohne dadurch deren trophische Beziehungen zu der ihr entstammenden Faser zu beeinträchtigen.

Zum Schlusse möge etwas näher auf die Steinach'schen Untersuchungen eingegangen werden, weil sie meine Beobachtungen bestätigen und nach mancher Richtung noch erweitern.

Da nach Lenhossek die Hinterwurzeln der niedern Wirbeltiere eine grosse Zahl mit Zellen nicht verbundener „durchgehender" Fasern führen, zu denen beim Frosche auch die von Steinach entdeckten visceromotorischen Hinterwurzelfasern gehören, wäre es denkbar, dass die lange Andauer der Negativschwankung nur auf die Thätigkeit dieser bezogen werden könnte. Daher legte Steinach Wert darauf, vor allem festzustellen, dass das lange Erhaltenbleiben der Negativschwankung nach der Verblutung des Tieres wirklich auf die sensiblen mit den Spinalganglienzellen verbundenen Nervenfasern bezogen werden darf, und dass an diesen Zellen schon Degenerationsprozesse wahrnehmbar sind, ohne dass die Empfindungsleitung Einbusse erlitten hätte. Von diesen Gesichtspunkten aus nahm er eine Reihe von Versuchen vor, die hier beschrieben werden mögen.

Bei der ersten Serie bestand das Präparat aus der vom Rumpfe abgetrennten und in physiologischer Kochsalzlösung aufbewahrten Wirbelsäule mit herauspräpariertem centripetalleitenden — aus centralem Stumpf, Ganglion und Hinterwurzel — bestehendem Nervenstrang. Steinach begann mit der Prüfung der Empfindungsleitung erst 24 Stunden nach der Präparation und bestimmte die äusserste Zeitgrenze für das Erhaltenbleiben der negativen Schwankung, welche noch 48—50 Stunden nach der Abtrennung des sensiblen Strangs vom Körper deutlich vorhanden war.

An einigen Präparaten, welche durch Herausreissen aus der Wirbelsäule gewonnen und in Kochsalzlösung aufbewahrt wurden, war die Negativschwankung noch 36—38 Stunden trotz der etwas gewaltsamen Art der Herstellung deutlich vorhanden. Die Versuche, an der gleichnamigen Vorder- und Hinterwurzel angestellt, ergaben, dass an beiden Wurzeln ungefähr gleichzeitig die Negativschwankung erlischt, ausgenommen wenn die Vorderwurzel dicker, mithin bei grösserem Querschnitt der Wurzelstrom stärker ist.

Alsdann vergleicht Steinach noch das Verhalten der Andauer der neuerdings besonders von Bernstein geprüften, übrigens auch schon vor ihm von anderen Forschern beobachteten reflektorischen Negativschwankung nach der Verblutung des Tieres und konstatiert, dass dieselbe schon nach 1 bis 1½ Stunden auch bei sonst günstigen Vorsichtsmassregeln schwindet und dass sie sogar noch früher erlischt als die reflektorische Muskelaktion.

Als Ergänzung des physiologischen Experiments wurde die histologische Untersuchung der nach Nissl behandelten Ganglien, die 48 Stunden in physiologischer Kochsalzlösung gelegen hatten, vorgenommen, wobei die Spinalganglienzellen schon mit degenerativen Zeichen angetroffen wurden, obwohl die in Rede stehenden elektromotorischen Wirkungen noch deutlich vorhanden waren.

In einer zweiten Gruppe von Versuchen ging Steinach daran, die Anämisierung des Spinal-

ganglions am lebenden Tiere bei sonst völlig intakter Circulation auszuführen. Zu diesem Zweck wurde der ganze centripetal leitende Nervenstrang sorgfältig frei gelegt, der Nervenstamm unterbunden und durchschnitten, während die zugehörigen Hinterwurzeln mit dem Marke in Verbindung blieben. Nach Durchtrennung der äusserst gefässreichen Kapsel des Ganglions wurde letzteres herausgehoben und endlich die Vorderwurzel kurz vor dem Ganglion abgeschnitten. Die Wundhöhle wurde nach antiseptischen Kauteten behandelt und das Tier in zweckmässiger Weise erhalten. Durch die Exstirpation der Kapsel ist somit das Ganglion seiner Circulation beraubt. Eine unbedeutende, für die Ernährung des Ganglions nicht genügende, längs der Hinterwurzel vom Mark aus entstehende Vaskularisation wird durch den Druck zweier den Nervenstrang einbettender, mit Salzlösung getränkter Wattebäusche hintangehalten. Nach der nunmehr einwandsfreien Anämisierung wird mit der Prüfung der sensiblen Leitung durch die Reflexthätigkeit des unversehrten Rückenmarks begonnen. Die Tiere antworteten auf Reizung des Lendennerven mit den heftigsten Reflexen und Fluchtanstrengungen und es zeigte sich, dass die Leitungsfähigkeit an dem auf diese Art isolierten Strang bedeutend länger bestehen blieb, als in den galvanometrischen Beobachtungen am ganz ausgeschnittenen Nerven. Steinach sah 10—14 Tage nach der Operation die Leitung unvermindert fortbestehen.

Die histologische Untersuchung gab auch hier wertvollen Abschluss über den Zustand der Spinalganglienzellen, die je nach der Dauer der Anämie von den leichtesten Graden des Zerfalls, dem Fehlen der basophilen Körner bis zu den schwersten Veränderungen, der überaus starken Schrumpfung und Gestaltsveränderung der Zelleiber ein recht anschauliches Bild gewährten.

Auf Grund dieser histologischen Befunde und der experimentellen Ergebnisse kommt Steinach zu dem Schlusse, dass das Spinalganglion für die sensible Leitung noch zu einer Zeit durchgängig ist, wo sämtliche Zellen bereits der Degeneration anheim gefallen sind, dass also die Empfindungsleitung nur der Unversehrtheit der Nervenfortsätze bedarf und zu den Zellen selbst in gar keiner Beziehung steht.

Nach Abschluss dieser Übersicht wurden mir noch zwei neuere Arbeiten zugänglich, die sich mit der Frage einer „transformierenden Wirkung" der Spinalganglienzellen auf den Erregungsablauf beschäftigen. In dieser Beziehung untersuchte Morat auf graphischem Wege die Reflexbewegungen strychnisierter Froschpräparate, indem er die sensiblen Fasern teils vor, teils hinter dem entsprechenden Ganglion reizte. Die Versuche hatten ein negatives Ergebnis. Die Intensität der Reflexzuckung schwankte nur innerhalb der durch die verschiedene Dichte des Reizstromes bedingten Reizstärken. Ihre Form, die Verschmelzung der Einzel-

zuckungen etc. war bei beiden Reizstellen dieselbe. Die Zeit der latenten Reizung (Reflexzeit) schwankte nur innerhalb derselben Grenzen, in denen sie auch bei Reizung derselben Nervenstelle zu schwanken pflegt. Die Einschaltung des Ganglions übte also keinen merklichen Einfluss auf den Ablauf der Erregung aus.

Ebenso sahen Moore und Reynolds keinen modificierenden Einfluss. Dieselben durchschnitten die hinteren Wurzeln des Plexus ischiadicus bis auf eine und schrieben die Zuckung des Gastrocnemius der Gegenseite auf Reizung dieser Wurzel oberhalb und unterhalb des Ganglions auf. Der Zeitunterschied entsprach nur der Länge der Nervenstrecke. Hieraus zogen Moore und Reynolds die Folgerung, dass die Erregung die Nervenzellen ohne Verzögerung durchlaufe, worauf E. A. Schäfer in der Discussion auf dem Congress zu Cambridge erwiderte, er vermisse den Beweis, dass die Nervenzellen überhaupt in den Erregungsweg eingeschaltet seien, eine Auffassung, welche mit der unsrigen vollkommen übereinstimmt.

Litteratur.

1. W Wundt. Untersuchungen zur Mechanik der Nerven und Nervencentren. II, S. 45 u. 104. Stuttgart.
2. Sigm. Exner. Arch. f. Anat. u. Phys. (Phys. Abt.). 1877, S. 567.
3. J. Gad u. M. Joseph. Arch f. Anat. u. Phys. (Phys, Abt.), 1889, S. 199.
4. Langley u. Dickinson Journ. of Physiol. Vol. XI. S. 123 u Ö.
5. O. Langendorff. Centralbl. f. Physiol. 1891. Heft 5.
6. O. Langendorff. Sitzber. f. Naturf. Ges. zu Rostock. 1892 (17. Dez.).
7. G. Mulert. Arch. f. d. gesamt. Physiol. Bd. 55 S. 550. 1894.
8. Ehrlich u. Brieger. Zeitschr. f. klin. Medizin. Bd. VII. Suppl. 1884, S. 155.
9. J. Singer. Sitzber. d. Kais. Akad. d. Wissenschaft in Wien. Bd. 96, Abt. 3. 1887.
10. O. Langendorff. Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 71, S. 401.
11. O. Langendorff. Arch. f. Anat. u. Phys (Physiol. Abt.), 1881. S. 241.
12. E. Steinach. Arch. f. d. ges. Phys., Bd. 79.
13. Morat. Referat v. Langendorff in Virchows Jahrb 1898. Bd. I S. 225.
14. B. Moore u. Reynolds. Centralbl. f. Physiol. 1898, S. 501.

Zum Schlusse sage ich Herrn Professor Langendorff für die vielfache Unterstützung, die er mir bei meiner Arbeit angedeihen liess, meinen verbindlichsten Dank.